

【特許請求の範囲】

【請求項1】

光照射手段と、突起部を有する透光性基板と、前記突起部の側面部および周辺部を覆う金属層と、前記突起部の頂面上に形成された金属薄膜とを含み、前記光照射手段から前記透光性基板を介して前記金属薄膜を透過した光によるエバネッセント波が前記金属薄膜に表面プラズモンを励起し得ることを特徴とする表面プラズモン励起装置。

【請求項2】

前記基板の前記突起部は帯状に形成されており、前記光照射手段により照射された光は、帯状に形成された前記突起部の長手方向と頂面の法線方向を含む面内に直線偏光していることを特徴とする請求項1に記載の表面プラズモン励起装置。

10

【請求項3】

前記光照射手段により照射された光は、収束光であることを特徴とする請求項1または2に記載の表面プラズモン励起装置。

【請求項4】

前記突起部の寸法形状とその屈折率および前記金属層は、前記光照射手段により前記突起部に照射された光が、前記突起部の幅よりも小さい領域で前記金属薄膜に到達するように設定されていることを特徴とする請求項1から3のいずれかに記載の表面プラズモン励起装置。

【請求項5】

前記金属層は良導体で形成され、かつ前記金属薄膜は金、銀、銅、およびアルミニウムのいずれかで形成されていることを特徴とする請求項1から4のいずれかに記載の表面プラズモン励起装置。

20

【請求項6】

請求項1から5のいずれかに記載された表面プラズモン励起装置と、前記金属薄膜および前記金属層によって反射された光を受光する光検出器と、前記金属薄膜に近接して測定試料の表面を配置しかつその試料表面を走査するための試料移動手段とを含むことを特徴とする表面プラズモン顕微鏡。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

30

本発明は、表面プラズモンを励起する装置とその表面プラズモン励起装置を含む顕微鏡との改善に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

従来の光学技術分野においては、光の回折限界によって、集光スポットサイズが制限されていた。しかし、近年では、この制限を越え得る近接場光が注目されており、ナノオーダーサイズの対象物を観察し得る走査型近接場光顕微鏡(SNOM: Scanning near field optical microscope)をはじめ、あらゆる分野で近接場光を応用した研究が盛んに行われている。そして、近接場光の応用の中でも、入射光の何十倍もの電界強度を得ることができ表面プラズモン共鳴が特に注目を浴びている。ここでいう表面プラズモン共鳴とは、金属表面に外部電磁波が印加された際にその金属表面に局所的に生じる自由電子のプラズマ振動とその外部電磁波とが共鳴する現象を意味している。

40

【0003】

表面プラズモン共鳴を発生させる装置としては、特許文献1の特開平1-138443号公報に開示されたものがある。図6は、表面プラズモン共鳴を発生させる基本的な装置を模式的な断面図で示している。この装置は、光源101と、その光源から放射された光を収束させる光収束手段102と、透光性の誘電体により形成された三角プリズム103と、その三角プリズムの表面に形成された金属薄膜104と、その金属薄膜で反射された光を検出する光検出器105とを含んでいる。

50

【0004】

光源101から放射されたP偏光の光は、光収束手段102により収束光にされ、三角プリズム103を透過した後、入射角度 θ で金属薄膜104上に集光される。なお、P偏光とは、物体表面に入射する光の電気ベクトルの振動方向がその表面の法線と光の進行方向を含む面内に含まれる直線偏光を意味する。金属薄膜104上に集光された光は、共鳴条件を満たす一部の光が表面プラズモンと共鳴して金属薄膜104の自由表面側に強調されたエバネッセント場106を発生させ、他の残りの光は反射されて光検出器105で検出される。

【0005】

この場合に、金属薄膜104に光が入射する角度 θ を変化させていけば、図7に示すグラフが得られる。このグラフにおいて、横軸は光の入射角 θ を表わし、縦軸は反射率(%)を表わしている。図7において、光検出器105で受光される光量は特定の入射角 θ_S で極小になっており、この入射角で収束光の一部が表面プラズモンと共鳴していることが分かる。

【0006】

また、上述のような表面プラズモンを励起する装置を顕微鏡に利用した例が、特許文献2の特開平5-240787号公報に開示されている。図8は、表面プラズモンを利用する基本的な顕微鏡を模式的な断面図で示している。この図において、光源201と、その光源から放射された平行光を拡大するビームエキスパンダー(レンズ202、203)と、そのビームエキスパンダーにより拡大された平行光を収束光にする光収束手段204と、光を結合するプリズム205と、プリズム205の1面に形成された金属薄膜206と、その金属薄膜との間隙をイメージンオイル207により埋められた測定試料208と、金属薄膜206で反射された反射光を検出する光検出器209と、測定試料208を間欠的に移動させるX-Yパルスステージ210が含まれている。

【0007】

光源201から放射された平行光は、ビームエキスパンダー202、203で拡大され、光収束手段204で収束光に変換され、プリズム205を透過して金属薄膜206上に集光される。集光された光のうち、金属薄膜206、イメージンオイル207、および測定試料208の膜厚と屈折率で決定される特定の入射角度の光が、表面プラズモンを励起する。

【0008】

表面プラズモンを励起せずに金属薄膜206で反射された光は光検出器209で観測される。表面プラズモンを励起したことにより反射光量が減少している座標を光検出器209上で検出し、その座標から表面プラズモンの励起角度を求めることによって、測定試料208の屈折率変化を測定することができ、さらに、X-Yパルスステージ210を用いて、測定試料208を走査することによって、試料の2次元屈折率分布を測定することが可能になる。

【0009】

【特許文献1】

特開平1-138443号公報

【0010】

【特許文献2】

特開平5-240787号公報

【0011】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、図6または図8の装置においては、表面プラズモンが励起される領域は、集光した光のスポットサイズに依存してしまう。たとえば、図6において光源101の波長が650nmで、光収束手段102のNA(開口数)が0.6である場合、1 μ m程度までしか光ビームを絞ることができない。したがって、図8の顕微鏡では、1 μ m程度の解像度しか得られないことになる。すなわち、光源から照射される光の回折限界によっ

10

20

30

40

50

て、顕微鏡の解像限界が決定されることになる。

【0012】

他方、光源を短波長化しかつ光収束手段のNAを大きくすることによって、スポットサイズをある程度小さくすることは可能である。しかし、nmオーダーサイズまで小さな光スポットを得ることは非常に困難であり、表面プラズモンを利用した従来の顕微鏡の解像度は限界に達している感がある。

【0013】

このような従来技術の状況に鑑み、本発明は、微小領域で表面プラズモンを励起し得る装置とその装置を利用した高解像度の顕微鏡を提供することを目的としている。

【0014】

【課題を解決するための手段】

本発明による表面プラズモン励起装置は、光照射手段と、突起部を有する透光性基板と、突起部の側面部および周辺部を覆う金属層と、突起部の頂面上に形成された金属薄膜とを含み、光照射手段から透光性基板を介して金属薄膜を透過した光によるエバネッセント波が金属薄膜に表面プラズモンを励起し得ることを特徴としている。

【0015】

なお、基板の突起部は帯状に形成され、光照射手段により照射された光は、その帯状突起部の長手方向と頂面の法線方向を含む面内に直線偏光していることが好ましい。また、光照射手段により照射される光は、収束光であることが好ましい。

【0016】

突起部の寸法形状とその屈折率および金属層は、光照射手段によりその突起部に照射された光が、突起部の幅よりも小さい領域で金属薄膜に到達するように設定されていることが好ましい。

【0017】

金属層は良導体で形成され、かつ金属薄膜は金、銀、銅、およびアルミニウムのいずれかで形成されていることが好ましい。

【0018】

本発明による表面プラズモン顕微鏡は、上述の表面プラズモン励起装置と、その装置に含まれる金属薄膜および金属層によって反射された光を受光する光検出器と、その金属薄膜に近接して測定試料の表面を配置しかつその試料表面を走査するための試料移動手段とを含むことを特徴としている。

【0019】

【発明の実施の形態】

図1の断面図と図2の斜視図によって、本発明の一実施形態による表面プラズモン励起装置が模式的に図解されている。図1は、図2中のX-Z面の断面に対応している。また、本願の図面において、同一の参照符号は同一部分または相当部分を表わしている。

【0020】

この表面プラズモン励起装置は、光照射手段1と、帯状の突起部を有する透光性基板2と、突起部の側面およびその周辺を覆うように形成された金属層3と、突起部の頂面上に形成された金属薄膜4とを含んでいる。ここで、金属層3と金属薄膜4には、経時変化が少なく、表面プラズモンの伝搬距離を短くすることができ金好ましく用いられ得る。また、金属薄膜4は、表面プラズモンを励起するために、入射した光がその金属薄膜4を透過してエバネッセント場を生じるような厚みに形成される。

【0021】

光照射手段1から放射されてX-Z面内に直線偏光している収束光は、基板2を透過して突起部内に入射する。この時、光照射手段1から放射された光は、突起部の頂面上に形成された金属薄膜4において表面プラズモンが励起される角度 θ_S で入射するように設定される。また、帯状に形成された突起部の断面の寸法形状、および金属層3と金属薄膜4の材料は、入射された光が金属薄膜4上の微小領域に到達するように設定される。突起部の頂面上に形成された金属薄膜4の微小領域に到達してX-Z面内に直線偏光している光は

、表面プラズモン共鳴によって強調されたエバネッセント波5を生じ、このエバネッセント波は金属薄膜4の空気側の面に沿って x 方向に伝搬していく。

【0022】

ここで、突起部の寸法形状の決定方法について具体的に説明する。図3は、 $x-z$ 面内に直線偏光した光を基板2内に入射させた場合に、突起部内において光が存在し得る領域を斜線の影付によって示している。この図に示されているように、 $x-z$ 面内に直線偏光した光が金属層3に側面が覆われた突起部内に入射する場合、その金属層側面 α の近傍では、その金属層側面 α に平行な電界は存在できない。そして、金属層側面 α の近傍では、光が $-z$ 方向に侵入するにつれて、光が存在し得る領域が減少する。さらには、突起部の高さ d がある一定値よりも大きくなれば、光は突起部の途中までしか侵入することができな

10

【0023】

このような現象は、次のような解析により確認することができる。図4のグラフは、基板の屈折率 n が1.58、金属溝の幅が250nm、金属溝を形成している媒質が金、入射光の波長 λ が650nm、対物レンズのNAが0.6、そして金属溝底面に対する光の入射角が 0° （すなわち基板面に対して垂直）である場合に、入射偏光に対する金属溝の深さと反射光量との関係を示している。すなわち、このグラフの横軸は λ/n で規格化された溝深さを表わし、縦軸は入射光強度で規格化された反射光強度を表わしている。なお、図4では金属溝を形成している媒質として金を用いられたが、たとえば銀、銅、アルミニウム等の他の金属を用いても、グラフの傾向は変化しない。

20

【0024】

図4を参照すれば、溝側面に垂直な方向に偏光した光（グラフ中の◆印）の場合、入射光の電界が金属溝側面近傍に存在可能なので、溝深さに対応して溝上部からの反射光と溝底部からの反射光との相対的な位相差が生じ、その結果として光が干渉して反射光量に変化する。他方、金属溝側面に平行な方向に偏光した光（グラフ中の■印）の場合では、溝深さが $0.3\lambda/n$ より深くなれば反射光量はほとんど変化しないことが分かる。すなわち、金属溝側面に平行な偏光の光は、金属溝が深くなった場合に、 $0.3\lambda/n$ 程度の溝深さまでしか侵入しないことが分かる。

【0025】

したがって、たとえば、光照射手段1の波長 λ を650nmにして、突起部の高さ d を $0.3\lambda/n$ および幅 w を250nmにすることにより、入射光が金属薄膜4の微小領域 w_1 にのみ到達するような突起部を形成することが可能となる。この例では入射角が 0° の場合について示したが、入射角を θ とした場合でも、入射光が金属薄膜4の微小領域 w_1 にのみ到達するような突起部を形成することが可能である。

30

【0026】

したがって、 $x-z$ 面内に偏光した光を入射させた場合、所望の突起部の高さ d の位置でかつ突起部の幅より小さい領域において、金属薄膜4に表面プラズモンを励起させることが可能となる。しかし、 $x-z$ 面に垂直に偏光した光を入射させた場合は、その光が突起部の頂面上の金属薄膜4の全幅域に到達してしまうので、突起部の幅よりも小さい領域で金属薄膜4に表面プラズモンを励起させることができないことになる。

40

【0027】

以上から理解されるであろうように、本発明によれば、入射光の大きさににかかわらず突起部の幅よりも小さい幅の表面プラズモンを励起することができるので、これをたとえば表面プラズモン顕微鏡に應用した場合に、その解像度を上げることが可能となる。

【0028】

図5の模式的な断面図は、本発明の他の実施形態による表面プラズモン顕微鏡を図解している。この図において、光照射手段1と、帯状の突起部を有する基板2と、突起部の側面を覆うように形成された金属層3と、突起部の頂面上に形成された金属薄膜4と、金属層3および金属薄膜4で反射された光を検出する光検出器5と、マッチングオイル（図示せず）にて金属薄膜4との間隙を埋められた測定試料6と、測定試料を走査する移動ステー

50

シ 7 が示されている。

【0029】

光照射手段 1 から放射された収束光は、基板 2 を透過して金属薄膜 4 上に集光される。集光された光のうち、金属薄膜 4、イメージンオイル、および測定試料 6 の膜厚と屈折率で決定される特定の入射角度の光が、表面プラズモンを励起する。表面プラズモンを励起せずに金属層 3 および金属薄膜 4 で反射された光は光検出器 5 で観測される。表面プラズモンを励起したことにより反射光量が減少している座標を光検出器 5 上で検出し、その座標から表面プラズモンの励起角度を求めることによって、測定試料 6 の屈折率を測定することができる。

【0030】

さらに、移動ステージ 7 を用いて測定試料 6 を走査することによって、2次元の屈折率分布を測定することが可能となる。たとえば、試料 6 において局所的に屈折率が異なる微小領域 6a が存在する場合、その屈折率が異なる微小領域の位置を検知することができる。この時、表面プラズモン励起装置によって励起された表面プラズモンは、突起部の構造によってその発生する領域が突起部の幅よりも狭い領域に制限されているので、従来の顕微鏡と比較して解像度を高めることができる。

【0031】

なお、上述の実施形態では帯状の突起部を含む表面プラズモン励起装置について説明したが、光ディスクの情報ビットのように X 方向に長さが制限されている突起が利用されてもよい。このような場合には、表面プラズモン（または強調されたエバネッセント波）の伝搬距離を制限することができるので、表面プラズモンが励起される領域を X 方向に対してさらに小さくすることができる。

【0032】

また、上述の実施形態では、矩形状断面の突起部の高さ h を変化させることによって突起部の頂面上に形成された金属薄膜に光が到達する領域の大きさを制御しているが、突起部の幅 w、金属媒質、突起部の断面形状などを変えることによって制御することが可能である。

【0033】

さらに、本発明によれば、表面プラズモンを発生させる領域を小さくすることができるので、たとえば屈折率変化を測定するセンサ等に應用することにより微小領域のセンシングを行うことが可能となる。さらに、アレイ状に突起部を配置してそれに応じて試料もアレイ状に配置することによって、非常に多くの試料の屈折率変化を微小領域について測定することができるようになる。また、本発明をバイオチップのような蛍光反応を測定する装置に應用することによって、センサと同様に非常に小さな領域に高密度に配置された測定対象の蛍光を検出できるようになる。

【0034】

【発明の効果】

以上のように、本発明によれば、微小領域で表面プラズモンを励起し得る装置とその装置を利用した高解像度の顕微鏡を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の実施形態に係る表面プラズモン励起装置を示す模式的な断面図である。

【図 2】本発明の実施形態に係る表面プラズモン励起装置を示す模式的な斜視図である。

【図 3】本発明の実施形態に係る表面プラズモン励起装置において、光が存在し得る領域を示す模式的な断面図である。

【図 4】本発明の実施形態に係る表面プラズモン励起装置において、金属溝深さと反射光強度の関係を示すグラフである。

【図 5】本発明の実施形態に係る表面プラズモン顕微鏡を示す模式的な断面図である。

【図 6】従来の表面プラズモン励起装置を示す断面図である。

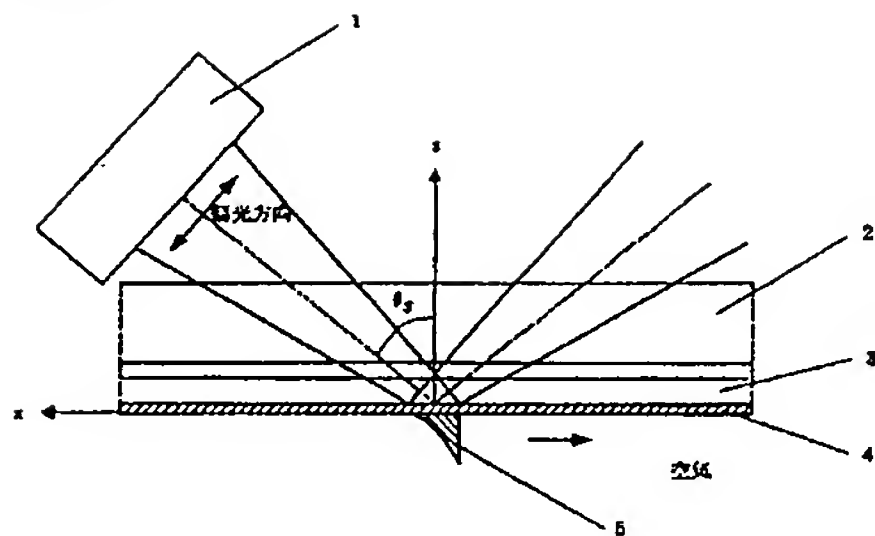
【図 7】従来の表面プラズモン励起装置における光の入射角と反射率の関係を示すグラフである。

【図8】従来の表面プラズモン顕微鏡を示す断面図である。

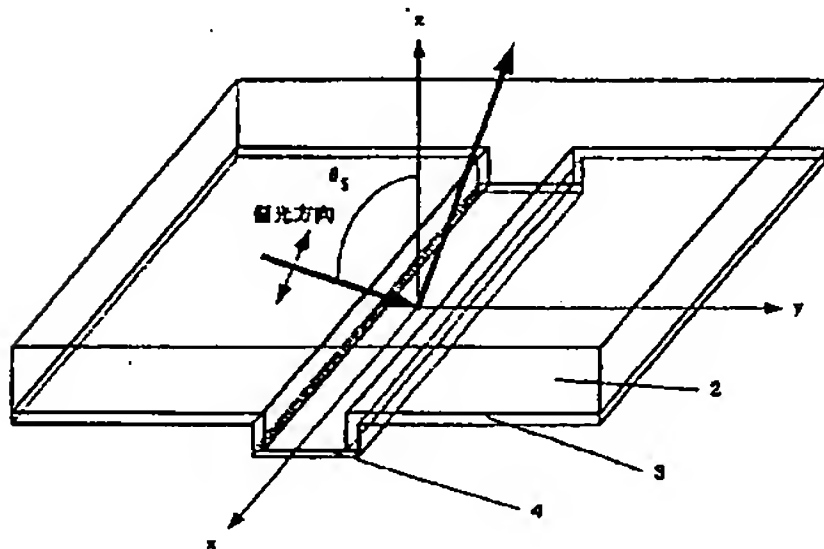
【符号の説明】

1 光照射手段、2 透光性基板、3 金属層、4 金属薄膜、5 表面プラズモン共鳴によって強調されたエバネッセント場、6 測定試料、7 試料移動ステージ。

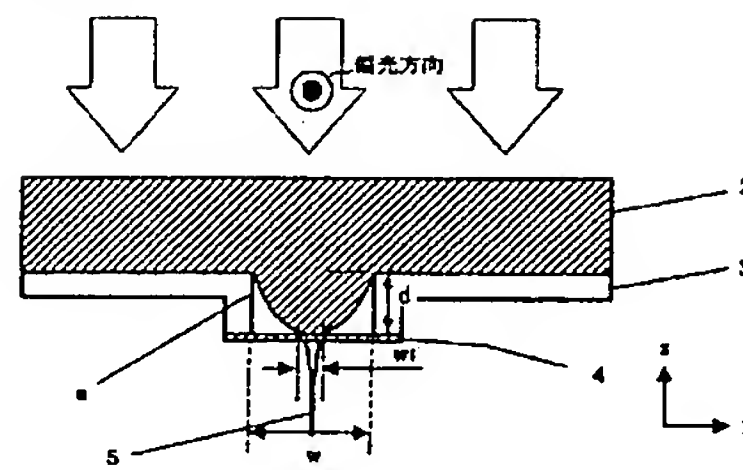
【図1】



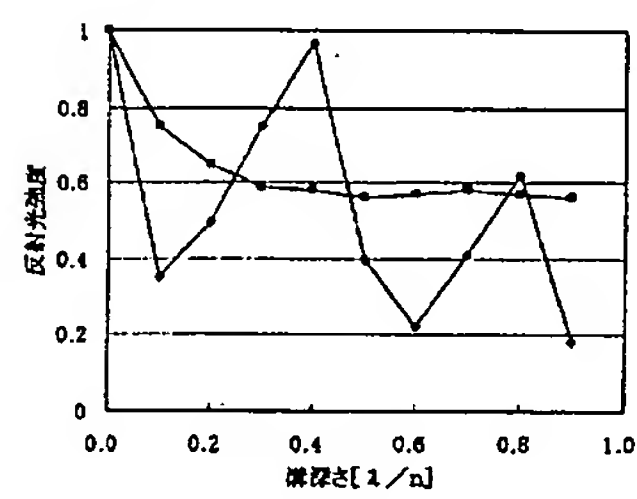
【図2】



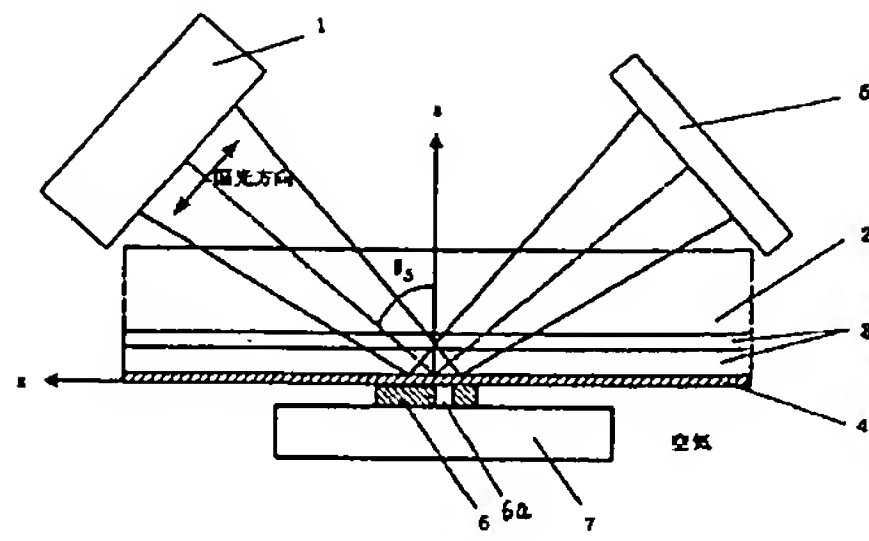
【図3】



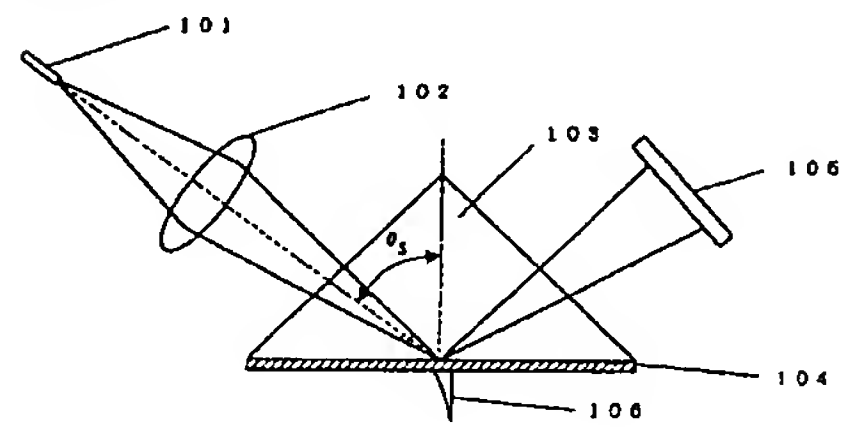
【図4】



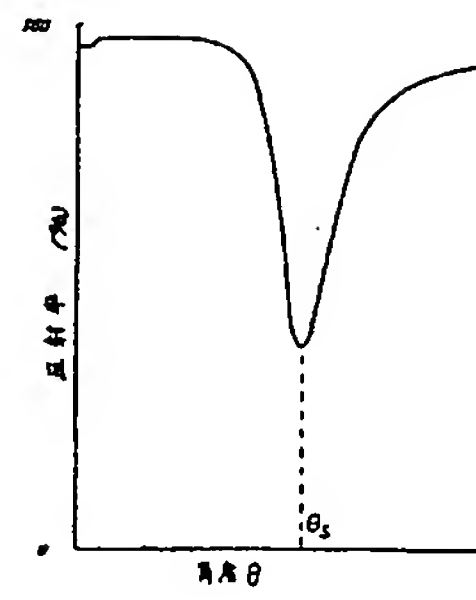
【図5】



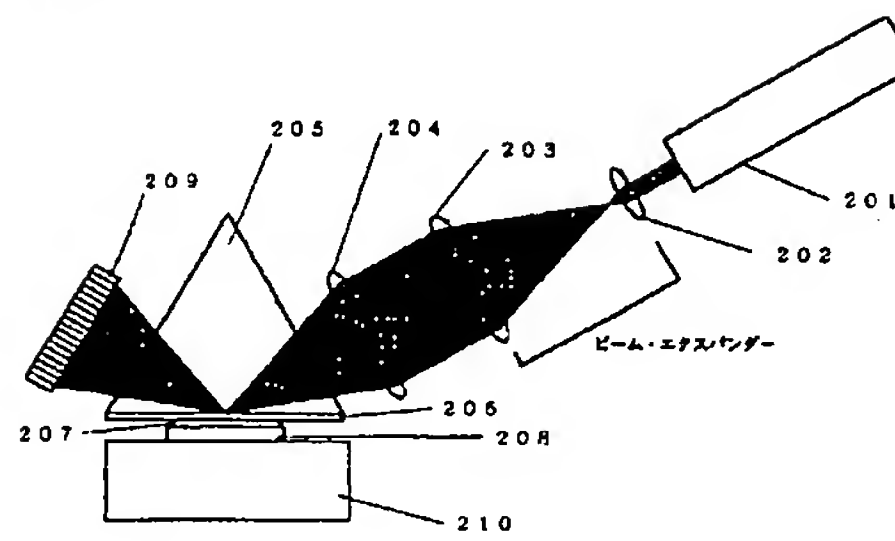
【図6】



【図7】



【図8】



フロントページの続き

(72)発明者 佐伯 哲夫

大阪府大阪市阿倍野区長池町2-2番22号 シャープ株式会社内

Fターム(参考) 2G059 AA02 AA05 BB04 DD13 EE02 EE05 GG04 GG10 HH02 HH06
JJ11 JJ19 KK01